

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

# **Makety symetrických metalických vedení**

## **Scale Models of Symmetric Metallic Lines**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Doležal**

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

**Makety symetrických metalických vedení**  
**Scale Models of Symmetric Metallic Lines**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu řešení obvodových modelů symetrických metalických vedení.
2. Navrhněte obvodové řešení makety symetrického vedení, která simuluje chování reálných kabelů různých typů a délek.
3. Navržené makety experimentálně ověřte.

Seznam doporučené odborné literatury:


SVOBODA, Jaroslav, ŠIMÁK, Boris, ZEMAN, Tomáš. *Základy teleinformatiky*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 192 s. ČVUT. ISBN 80-01-01767-2.  
SVOBODA, Jaroslav, et al. *Telekomunikační technika - díl 1. : Zprávy, signály, přenosová prostředí*. 1. vyd. Praha : Hüthig, Beneš, 1998. 136 s. ISBN 80-901936-3-3.  
MILOŠ, Schlitter. *Telekomunikační vedení*. Praha: ČVUT, 1995, 258 s.

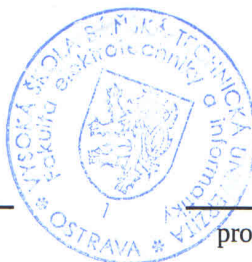
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iva Petříková, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014


  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava*.

V Ostravě 2. května 2014

  
.....

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 2. května 2014

  
.....

Rád bych tímto poděkoval paní Ing. Ivě Petříkové, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá telekomunikačním metalickým vedením. Takovéto vedení lze považovat za vedení homogenní, protože má stejné elektrické vlastnosti na všech svých částech. První část práce je teoretická. Popisuje vlastnosti a charakteristiky metalických vedení. V druhé části je zaznamenán návrh maket pomocí programu SNAP. Porovnání parametrů navrhnutých maket s vedeními reálnými popisuje část třetí.

**Klíčová slova:** homogenní metalické vedení, makety vedení, SNAP, provozní útlum, kabel SYKFY

## **Abstract**

The bachelor thesis is about telecommunication metallic wiring, which can be considered homogeneous as it has identical qualities throughout the entire cable. First part is theoretical and describes properties and characteristics of metal wiring. In second part is a design made in application SNAP. Third part shows comparison of qualities of designed wiring to commonly used wiring.

**Keywords:** homogeneous metallic line, scale models, SNAP, operating loss, cable SYKFY

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>4</b>
<b>1 Přenosové cesty</b>	<b>5</b>
1.1 Radiové přenosové cesty . . . . .	5
1.2 Optické vedení . . . . .	6
1.3 Metalická vedení . . . . .	7
1.3.1 Nadzemní vedení . . . . .	9
1.3.2 Kabelové vedení . . . . .	9
1.3.3 Symetrická kabelová vedení . . . . .	10
1.3.4 Koaxiální kabely . . . . .	11
<b>2 Umělé vedení</b>	<b>13</b>
2.1 Simulace vedení pomocí čtyřpólů . . . . .	13
2.2 Experimentální metoda návrhu . . . . .	15
<b>3 Návrh maket metalického vedení</b>	<b>18</b>
3.1 Měření parametrů reálných vedení . . . . .	18
3.2 Navržení maket v programu SNAP . . . . .	20
3.3 Ověření parametrů navržených maket . . . . .	24
3.4 Porovnání parametrů reálného vedení a navržených maket . . . . .	28
<b>4 Závěr</b>	<b>31</b>
<b>Literatura</b>	<b>32</b>
<b>Přílohy</b>	<b>32</b>
<b>A Příloha na CD</b>	<b>33</b>

### Seznam tabulek

3.1	Provozní útlum vedení 250 m . . . . .	18
3.2	Provozní útlum vedení 500 m . . . . .	19
3.3	Provozní útlum vedení 1000 m . . . . .	19
3.4	Provozní útlum makety vedení 250 m . . . . .	25
3.5	Provozní útlum makety vedení 500 m . . . . .	25
3.6	Provozní útlum makety vedení 1000 m . . . . .	26
3.7	Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 250 m . . . . .	28
3.8	Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 500 m . . . . .	28
3.9	Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 1000 m . . . . .	29

**Seznam obrázků**

1.1	Závislost vlnové délky na kmitočtu . . . . .	5
1.2	Blokové schéma radiového přenosu . . . . .	6
1.3	Přenosová cesta s optickým vláknem . . . . .	6
1.4	Náhradní schéma elementu homogenního vedení . . . . .	8
1.5	Páry symetrického a koaxiálního vedení . . . . .	8
1.6	Uspořádání nadzemního vedení . . . . .	9
1.7	Konstrukční uspořádání kabelu . . . . .	10
1.8	Druhy žil kabelu . . . . .	10
1.9	Prvky kabelu . . . . .	11
1.10	Řez koaxiálním kabelem . . . . .	11
2.1	Náhradní zapojení homogenního vedení . . . . .	13
2.2	Zapojení křížového článku . . . . .	14
2.3	Modulová a fázová charakteristika PI-regulátoru . . . . .	15
2.4	Struktura pasivního PI-regulátoru . . . . .	16
2.5	Symetrická varianta umělého vedení . . . . .	17
2.6	Symetrická varianta umělého vedení bez indukčností . . . . .	17
3.1	Schéma měření reálného kabelu . . . . .	18
3.2	Charakteristiky reálných vedení . . . . .	19
3.3	Obecné schéma makety symetrického vedení . . . . .	20
3.4	Návrh makety vedení délky 1000 m . . . . .	20
3.5	Návrh makety vedení délky 500 m . . . . .	21
3.6	Návrh makety vedení délky 250 m . . . . .	21
3.7	Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 1000 m vypočítaného ze SNAPu . . . . .	22
3.8	Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 500 m vypočítaného ze SNAPu . . . . .	22
3.9	Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 250 m vypočítaného ze SNAPu . . . . .	23
3.10	Sestavené makety na nepájivém poli . . . . .	24
3.11	Schéma zapojení měřených maket . . . . .	24
3.12	Měření simulovaného vedení délky 1000 m . . . . .	25
3.13	Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 250 m . . . . .	26
3.14	Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 500 m . . . . .	27
3.15	Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 1000 m . . . . .	27
3.16	Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 250 m . . . . .	29
3.17	Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 500 m . . . . .	30
3.18	Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 1000 m . . . . .	30



## Úvod

Předmětem této bakalářské práce je vytvoření makety symetrických metalických vedení. Budeme zde porovnávat chování simulovaného vedení různých délek a typů s vedením reálným. Celá práce pak bude rozdělena na tři části.

V první části si rozebereme základní rozdělení přenosových cest a podíváme se blíže na parametry a na platné vztahy na vedení. Z této kapitoly budeme poté vycházet při porovnávání hodnot simulovaných a hodnot naměřených na reálném vedení.

Část druhá nám přiblíží návrh obvodového řešení symetrického vedení. Zde se budeme zabírat sestavením maket symetrického metalického vedení. Tyto makety nám poslouží pro poslední část práce, a to pro porovnání hodnot teoretických a reálných.

V závěrečné části pak provedeme u nasimulovaného vedení zjištění jeho parametrů a vlastností. Takto získaná data následně porovnáme s hodnotami zjištěnými z reálných vedení. V závěru práce pak budou patrné veškeré odchylky simulovaných a reálných hodnot.

## 1 Přenosové cesty

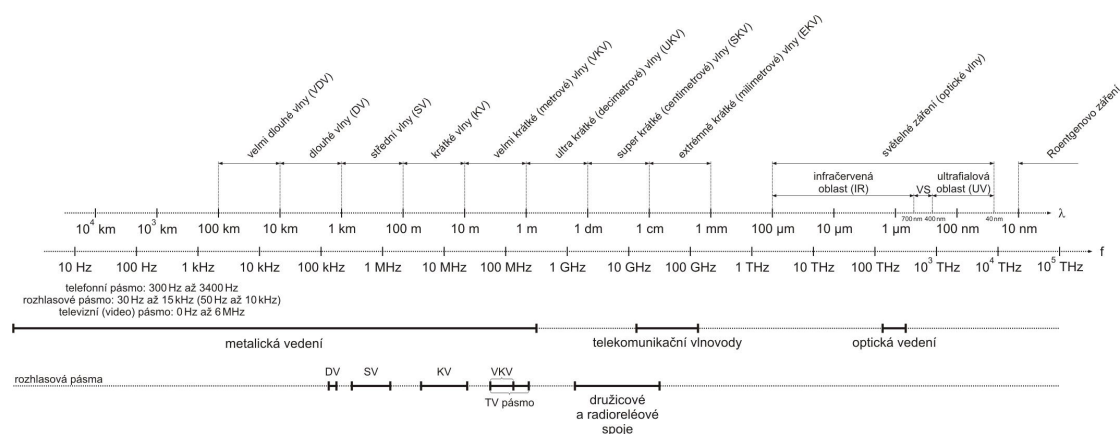
Přenosová cesta slouží k přenosu signálu pomocí elektromagnetické vlny. Tato vlna je charakterizována vztahem

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m; m/s; Hz], \quad (1.1)$$

kde  $c$  je rychlost šíření světla volným prostorem a  $f$  udává počet kmitů vlny za 1 sekundu. A právě kmitočet  $f$  je velmi důležitý pro výběr správné přenosové cesty. Pro různé frekvence jsou vhodná různá přenosová média. Přenosové cesty můžeme rozdělit na 3 základní druhy, a to na:

- rádiové přenosové cesty
- optická vedení
- metalická vedení.

Více můžeme shlédnout na následujícím obrázku.<sup>1</sup>



Obrázek 1.1: Závislost vlnové délky na kmitočtu

### 1.1 Radiové přenosové cesty

Rádiové přenosové cesty využívají při přenosu signálů elektromagnetické vlny, které se efektivně šíří volným prostorem. Tyto vlny vygeneruje vysílací anténa, od které se šíří

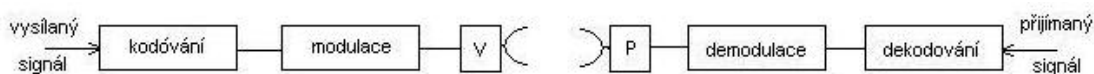
<sup>1</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 79-80.

## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

volným prostorem až k anténě přijímací. Šíření vln od antény vysílací k anténě přijímací je významně ovlivněno elektrickými vlastnostmi prostředí (především ionosféry).<sup>2</sup> Rozlišujeme 3 rádiové spoje:

- všesměrové
- úzce směrové
- družicové.

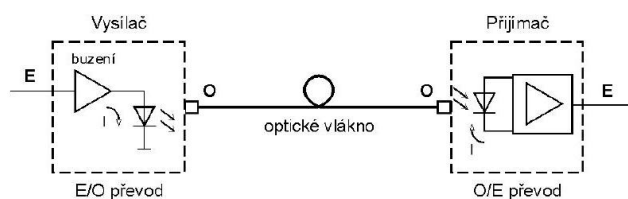
Na následujícím obrázku si můžeme prohlédnout blokové schéma rádiového přenosu.<sup>3</sup>



Obrázek 1.2: Blokové schéma rádiového přenosu

### 1.2 Optické vedení

Optická vedení přenášejí elektromagnetické vlny, které mají velmi vysoký kmitočet (řádově to jsou THz). Takováto vlnění nazýváme světelnými vlnami nebo-li světlem. Přenosovým médiem je optické vlákno o velmi malém průměru (desítky mikrometrů), které je tvarem a některými vlastnostmi podobné metalickému vodiči. Optické vedení je složeno z dielektrického vlákna, na kterém je rovnoměrně nanесena dielektrická vrstva (jádro a plášť) s různými indexy lomu světla  $n$ . Světelný paprsek se šíří jádrem avšak malá část se dostane i do pláště, kde se utlumí. Mezi vysílačem a přijímačem nemusí být u tohoto vedení přímá viditelnost.<sup>4</sup> Obrázek níže znázorňuje přenosovou cestu s použitím optického vlákna.<sup>5</sup>



Obrázek 1.3: Přenosová cesta s optickým vláknem

<sup>2</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 103.

<sup>3</sup>Rádiové přenosové cesty [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.bakal06.chytrak.cz/46-P%F8enosov%E9-cesty.pdf>

<sup>4</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 91-92.

<sup>5</sup>HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>

Více zde ale radiový přenos a optická vedení rozebírat nebudu, jelikož to není předmětem této práce. Dále se již budu zabývat pouze vedením metalickým, které je pro mou práci stěžejní.

### 1.3 Metalická vedení

Metalická (nebo také telekomunikační) vedení jsou soustavy metalických vodičů, které slouží k přenosu signálů stejnosměrných, signálů o nízkých, tónových i vysokých kmitočtech. Takovéto vedení lze označit i jako vedení homogenní. Pro homogenní vedení je charakteristické, že má stejné elektrické vlastnosti v každé své části. Je popsáno primárními a sekundárními parametry, které závisí na kmitočtu.<sup>6</sup>

Primárními parametry jsou:

- měrný odpor  $R$  [ $\Omega/\text{km}$ ]
- měrná indukčnost  $L$  [ $\text{H}/\text{km}$ ]
- měrná kapacita  $C$  [ $\text{F}/\text{km}$ ]
- měrný svod  $G$  [ $\text{S}/\text{km}$ ]

U harmonického signálu způsobuje tok proudu přes podélnou impedanci elementu úbytek napětí.

$$\Delta U = I(R + j\omega L)\Delta x \quad (1.2)$$

U větve příčné je pak způsoben úbytek proudu.

$$\Delta I = U(G + j\omega C)\Delta x \quad (1.3)$$

Sekundární parametry slouží pro sledování přenosových vlastností. Jsou to<sup>7</sup>

- měrná vlnová míra přenosu  $\gamma$
- vlnová impedance vedení  $Z_c$

pro které platí vztahy:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) + (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (1.4)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)}} = |Z_c| \cdot e^{j\varphi_c} \quad (1.5)$$

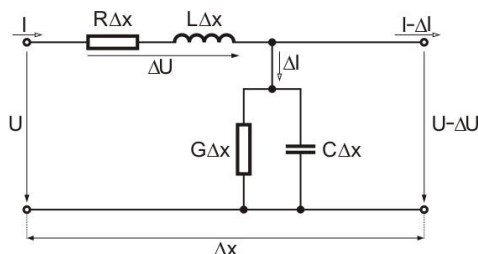
---

<sup>6</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 79-81.

<sup>7</sup>SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 39.

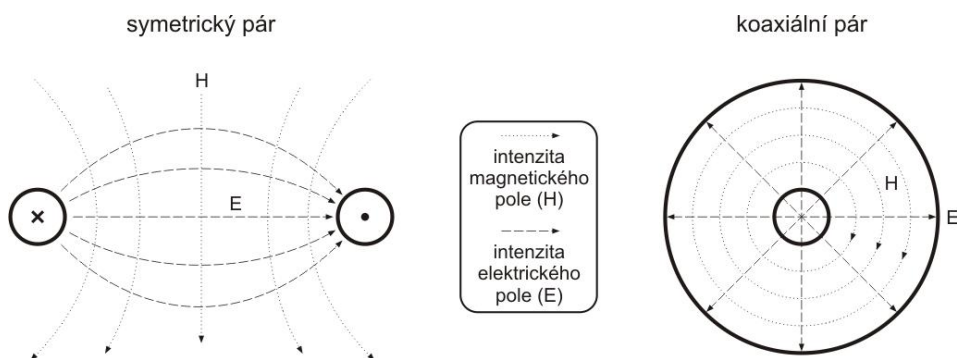
## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

Na obrázku 1.4 vidíme náhradní schéma elementu homogenního vedení.<sup>8</sup>



Obrázek 1.4: Náhradní schéma elementu homogenního vedení

Telekomunikační vedení jsou tvořena ze dvou metalických vodičů, které se vyrábí ze čtyřech různých materiálů - měď, bronz, hliník a ocel. Tato vedení se dělí na dvě základní skupiny a to na vedení symetrické a koaxiální.<sup>9</sup> Obrázek níže znázorňuje uspořádání vodičů a vznikající elektromagnetické pole mezi nimi.<sup>10</sup>



Obrázek 1.5: Páry symetrického a koaxiálního vedení

Symetrické vedení je tvořeno dvojicí spirálově stočených vodičů v kabelu nebo dvojicí paralelních vodičů, které jsou zavěšeny na izolátorech. Vodiče mají vůči zemi stejné vlastnosti (kapacita, svod, indukčnost), tudíž jsou oproti zemi symetrické. Koaxiální vedení představuje dvojici sousedících vodičů.

<sup>8</sup>Rádiové přenosové cesty [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.bakal06.chytrak.cz/46-P%F8enosov%E9-cesty.pdf>

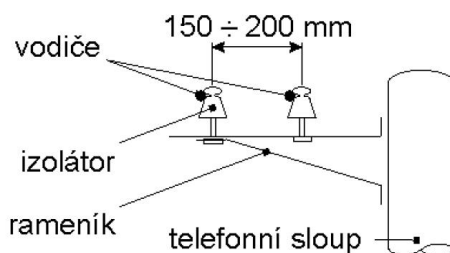
<sup>9</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 86.

<sup>10</sup>Přenosová média: metalická vedení a vlastnosti [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=5491>

## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

### 1.3.1 Nadzemní vedení

Pro nadzemní vedení jsou využívány bronzové nebo ocelové (či bimetalické) vodiče. Průměr těchto vodičů je 2 - 4 mm. Vzdálenost jednoho páru vodičů od sebe je 150 - 200 mm. Za nevýhodu nadzemního vedení lze považovat závislost jejich přenosových vlastností na okolních podmínkách (klima, ovlivnění elektromagnetickými poli).<sup>11</sup> Názorná ukázka je na obrázku níže.<sup>12</sup>



Obrázek 1.6: Uspořádání nadzemního vedení

### 1.3.2 Kabelové vedení

Kabelové vedení je umístěno v zemi přibližně 80 cm hluboko. Díky tomu jsou u tohoto vedení potlačeny nevýhody vedení nadzemního a kabel je i lépe chráněn před mechanickým poškozením. Kabel se skládá z většího počtu vodičů, které jsou vzájemně izolovány a tvoří tzv. duši kabelu. Jako ochrana před vniknutím vlhkosti do duše slouží olověné, plastové nebo hliníkové pláště. Proti mechanickému poškození pak slouží ocelový pancíř. Duše kabelu je vyrobena stočením prvků kabelu kolem jeho osy do poloh (vrstev nebo skupin).<sup>13</sup>

Prvky kabelového vedení jsou:

- symetrické páry
- symetrické čtyřky
- koaxiální páry (trubky)

Kabely dále dělíme podle použitých prvků na:

- symetrické

<sup>11</sup>SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 40-41.

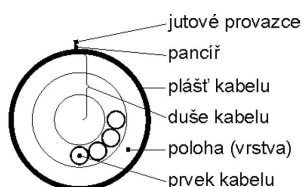
<sup>12</sup>HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>

<sup>13</sup>SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 42.

## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

- koaxiální
- kombinované

Názorná ukázka uspořádání kabelu je na obrázku níže.<sup>14</sup>

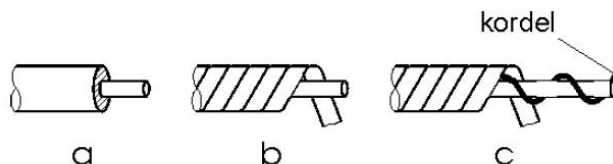


Obrázek 1.7: Konstrukční uspořádání kabelu

### 1.3.3 Symetrická kabelová vedení

Jak již bylo zmíněno dříve v textu, název symetrický kabel naznačuje symetrii dvou vodičů vůči zemi (mají stejné vlastnosti - indukčnost, svod, kapacita). Jádrem kabelu je měděný (případně hliníkový) vodič, který je<sup>15</sup>

- izolován plastovou izolací (plnou nebo pěnovou)
- papírovým proužkem
- nebo má izolaci vzduch-papír (vzduch-styroflex)



Obrázek 1.8: Druhy žil kabelu

Důležitou částí je kordel (kalibrovaný papírový nebo styroflexový provázek), který slouží k vymezení vzduchové mezery u dálkových kabelů. Takto izolované vodiče vytvářejí žíly a jejich stočení pak tvoří prvky kabelů.

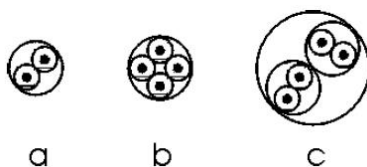
<sup>14</sup>HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>

<sup>15</sup>SVOBODA, Jaroslav, Tomáš ZEMAN a Boris ŠIMÁK. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 42-43.

## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

Tyto prvky jsou nejčastěji:<sup>16</sup>

- a) pár
- b) křížová čtyřka X
- c) nebo DM čtyřka (stočené dva páry)

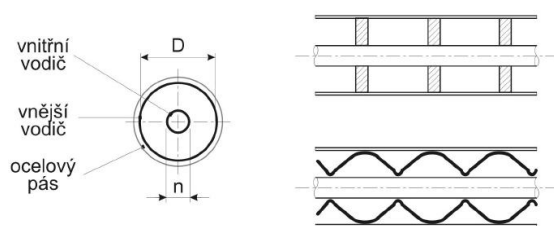


Obrázek 1.9: Prvky kabelu

Křížová čtyřka je vytvořena tak, aby měly všechny žíly vzájemně neměnnou polohu. Tato konstrukce je vhodná pro přenosy vyšších kmitočtů. DM čtyřka (Dieselhorst - Matrin) je vytvořena dvěma páry. Každý pár je stočen s různou délkou skrutu a oba páry jsou pak stočeny ve čtyřku, která má zase opačný směr a jinou délku skrutu. Žíly v tomto kabelu mají měnnou polohu čímž se snižují kapacitní vazby. DM čtyřka se využívá při nízkých frekvencích.<sup>17</sup>

### 1.3.4 Koaxiální kabely

Koaxiální kabel tvoří koaxiální pár, který je složen ze dvou souosých měděných vodičů. Vnitřní (středový) vodič o průměru  $d$  je souose veden v trubce, která má vnitřním průměr  $D$  a tvoří vnější vodič. Souosé fixování obou vodičů je provedeno středícími izolačními disky nebo balónkovou izolací.<sup>18</sup>



Obrázek 1.10: Řez koaxiálním kabelem

<sup>16</sup>HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>

<sup>17</sup>SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 43.

<sup>18</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 89-90.



## 1 PŘENOSOVÉ CESTY

---

Vzniklá vzduchová mezera pak představuje dielektrikum. Vnější trubku tvoří měděný pásek (o tloušťce 0,1 - 0,15 mm) svinutý do trubky a spojen ve švu. Tato trubka na sobě má elektromagnetické stínění v podobě ovinutí ocelovými páskami. Poměr  $D/d$  je zvolen s ohledem na minimální měrný útlum koaxiálního páru (optimálně  $D/d = 3,6$ ).<sup>19</sup>

Koaxiální páry užívané v telekomunikacích:

- malý koaxiální pár ( $D/d = 4,4 / 1,2 \text{ mm}$ )
- střední (standardní) koaxiální pár ( $D/d = 9,5 / 2,6 \text{ mm}$ )

U koaxiálních párů je  $R < \omega L$  a  $G < \omega C$ , a proto můžeme uvést zjednodušený vztah pro vyjádření sekundárních parametrů:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \beta_C = \omega \sqrt{LC} \quad (1.6)$$

---

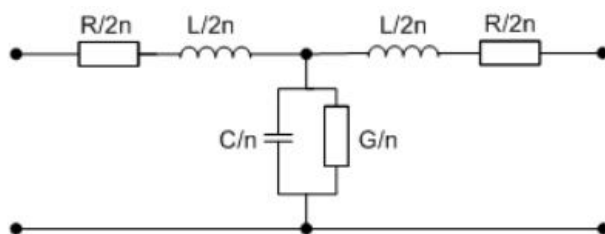
<sup>19</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 89-90.

## 2 Umělé vedení

### 2.1 Simulace vedení pomocí čtyřpólů

Umělé vedení (neboli maketa) je elektrický nebo elektronický obvod s velmi podobnými přenosovými vlastnostmi jaké mají reálná vedení. Taková vedení se označují jako přenosové čtyřpóly, které mají dány frekvenční charakteristiky. K návrhu umělých vedení se využívají nejčastěji dvě metody. Čtyřpóly se zapojí do kaskády o  $n$  stejných prvcích, které mají soustředěné parametry, nebo se využije čtyřpólu pouze jednoho rovněž se soustředěnými parametry. Tímto dosáhneme namodelování vlastností vedení o délce  $l$ . Výběr vhodného modelu je dán pracovním frekvenčním pásmem a přesností modelování.

Při simulování vedení pomocí kaskády čtyřpólů se držíme předpokladu, že ekvivalentní homogenní vedení o délce  $l$  je sestaveno z  $n$  stejných T článků. Je důležité sledovat potřebný počet článků tak, abychom dosáhli přesnosti, které požadujeme. Dále sledujeme závislost primárních parametrů na frekvenci. Tato závislost se projeví u každého článku.<sup>20</sup>



Obrázek 2.1: Náhradní zapojení homogenního vedení

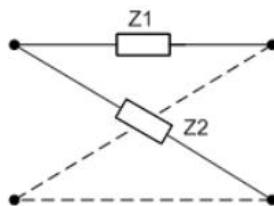
Princip modelování jedním čtyřpólem spočívá v nahrazení skutečného vedení za souměrný křížový článek. Využívá se *Barlettova teoremu*, který říká, že nahradit lze podélně i příčně souměrný dvojbran a to zapojením křížového článku, který je dokonale souměrný. "Podélná impedance  $Z_1$  odpovídá impedanci nakrátko vedení poloviční délky, vzhledem k vedení modelovanému, a podobně diagonální impedance  $Z_2$  odpovídá impedanci naprázdno vedení poloviční délky. S úspěchem bude touto metodou zkonstruováno umělé vedení tehdy, jestliže se podaří nalézt zapojení, jejichž impedance odpovídá impedanci naprázdno a nakrátko poloviční délky modelovaného vedení v zadaném frekvenčním rozsahu."<sup>21</sup>

<sup>20</sup> Umělá vedení v telekomunikační technice [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008120006>

<sup>21</sup> Tamtéž.

## 2 UMĚLÉ VEDENÍ

---



Obrázek 2.2: Zapojení křížového článku

Rovnice vyjadřující impedance naprázdno  $Z_p$  a nakrátko  $Z_k$ ,

$$Z_p = \frac{1}{2}(Z_1 + Z_2) = Z_0 \cot h(\gamma l) \quad (2.1)$$

$$Z_k = 2 \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = Z_0 \tan h(\gamma l) \quad (2.2)$$

kde obrazová impedance  $Z_0$  je rovno

$$Z_0 = \sqrt{Z_k Z_p} = \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (2.3)$$

a obrazová míra přenosu je

$$\tan h \frac{g_0}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \quad (2.4)$$

Obě tyto metody modelování odhalili své použitelnosti. Při využití  $n$  segmentů se ukázalo, že metoda je vhodná jen pro omezené frekvenční pásmo. Dochází také ke zvýšení potřebného počtu segmentů vedení při obvodovém modelování primárních parametrů reálného vedení. Metoda s křížovým článkem má využití pro úzká frekvenční pásma a pro vedení s malým útlumem.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup>Umělá vedení v telekomunikační technice [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008120006>

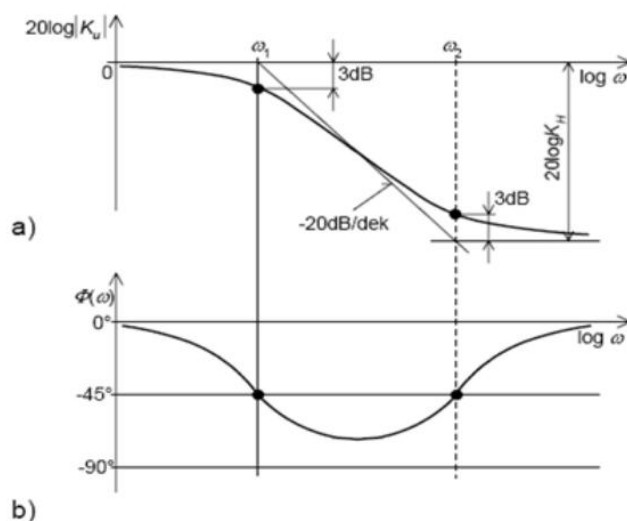
### 2.2 Experimentální metoda návrhu

Tato metoda vychází z kaskádního spojení dolních propustí. Využívá se tzv. PI-regulátor, což je dolní propust RC se sériově řazeným odporem a kondenzátorem. Takový to PI-regulátor je popsán úhlovými rychlostmi  $\omega_1$  a  $\omega_2$ , které určují zlomy frekvenční charakteristiky.<sup>23</sup>

$$\omega_1 = \frac{1}{(R_1 + R_2)C} \quad (2.5)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{R_2 C} \quad (2.6)$$

Obrázek 2.3 znázorňuje a) modulovou a b) fázovou charakteristiku PI-regulátoru.



**Obrázek 2.3:** Modulová a fázová charakteristika PI-regulátoru

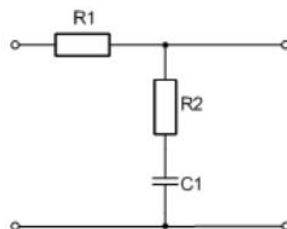
Vztah frekvenční charakteristiky potom je:

$$H(j\omega) = \frac{1 + \frac{j\omega}{\omega_2}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_1}} \quad (2.7)$$

<sup>23</sup>Modul umělého vedení pro digitální účastnické přípojky [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevcclanku=modul-umeleho-vedeni-pro-digitalni-ucastnicke-pripojky&cislocclanku=2008120005>

## 2 UMĚLÉ VEDENÍ

Následující schéma vyobrazuje strukturu PI-regulátoru. Jeho důležitou vlastností je, že v pásmu vyšším než-li  $\omega_2$  vykazuje stálý útlum a fázový posun roven 0, a proto je využit v segmentu umělého vedení.<sup>24</sup>



Obrázek 2.4: Struktura pasivního PI-regulátoru

Při návrhu umělého vedení je použito zapojení PI-regulátorů do kaskády. Využívá se vlastností jejich frekvenčních charakteristik neboli zlomových bodů. Úhlová frekvence  $\omega_1$  značí mez propustného pásma a  $\omega_2$  spodní hranici trvalého útlumu. Poměr těchto úhlových frekvencí pak vyjadřuje maximální útlum jednoho článku. Celkový počet článků spojených do kaskády se řídí celkovým útlumem vedení. Hodnoty součástek umělého vedení jsou stanoveny snahou o dosažení maximální shody napětí na výstupní impedanci, jako má skutečné vedení. Hodnota zakončující impedance je rovna  $100 \Omega$ . Jelikož je vedení buzeno z obou stran, musí být k původnímu vedení přidán zrcadlově obrácený obvod kvůli jeho příčné symetrizaci. Tímto se zdvojnásobí počet součástek a také řád útlumových článků.

Díky těmto faktům musíme umělé vedení navhnout znovu a respektovat tyto poznatky:

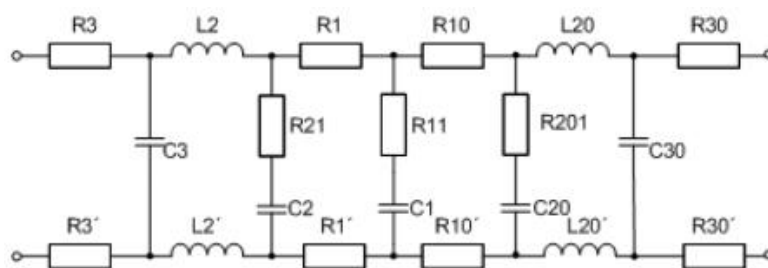
- obvod musí být symetrický od středu k okrajům
- řád útlumových článků se bude zvyšovat (budou progresivní)

Aby byla vstupní impedance co nejméně ovlivněna, musí se přesunout indukčnosti směrem ke středu obvodu a obvod musí být podélně symetrizován. Signál procházející oběma větvemi je pak v každé větvi ovlivňován stejně, jako tomu je u vedení skutečného. Jádrem zapojení tedy tvoří T článek 1. řádu. Na něj navazují po obou stranách útlumové články 1. řádu, které dohromady vytvoří článek 2. řádu (články mají shodné součástky). Konce obvodu pak obsahují útlumové články 2. řádu, které dohromady vytvoří článek 4. řádu. Navrhnuté vedení je vyobrazeno na obrázku 2.5.<sup>25</sup>

<sup>24</sup>Modul umělého vedení pro digitální účastnické přípojky [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=modul-umeleho-vedeni-pro-digitalni-ucastnicke-pripojky&cislocclanku=2008120005>

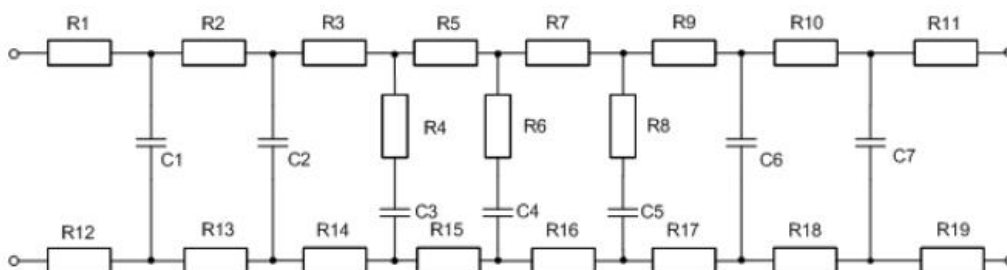
<sup>25</sup>Tamtéž.

## 2 UMĚLÉ VEDENÍ



Obrázek 2.5: Symetrická varianta umělého vedení

Takto sestavený model umělého vedení vhodně simuluje průběh útlumu i při vysokých frekvencích. Nicméně, při zapojení modulu do přenosové cesty s modemy ADSL, se začnou negativně projevovat vlastní indukčnosti. Ty způsobují, že DSL spojení na tomto modulu vykazují mnohem nižší přenosové rychlosti než vedení skutečné se stejnou délkou. Pro vysoké frekvence je tedy nutné využít RC článků. Upravené vedení je na obrázku 2.6.<sup>26</sup>



Obrázek 2.6: Symetrická varianta umělého vedení bez indukčností

<sup>26</sup>Modul umělého vedení pro digitální účastnické přípojky [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=modul-umeleho-vedeni-pro-digitalni-ucastnicke-pripojky&cislocclanku=2008120005>

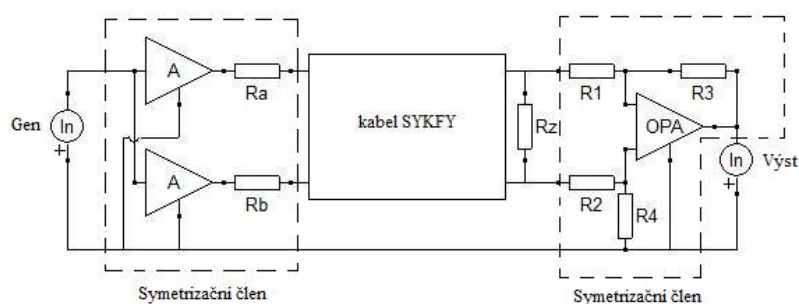
### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

### 3 Návrh maket metalického vedení

Pro zajištění správného návrhu maket je potřeba nejdříve zjistit parametry reálného vedení. K tomuto účelu sloužil kabel SYKFY 2x2x0,5 ve třech délkách, a to 1000 m, 500 m a 250 m. Navrhované makety tedy budou simulovat vedení s těmito parametry.

#### 3.1 Měření parametrů reálných vedení

Při měření vlastností reálného vedení se vycházelo ze schématu, které je na obrázku 3.1. Zapojení se skládá z generátoru signálu, symetrizačních členů, kabelu SYKFY a měřiče výstupní úrovně.



Obrázek 3.1: Schéma měření reálného kabelu

Měření bylo provedeno při vstupním signálu v rozsahu od  $1\text{kHz}$  do  $1\text{MHz}$ , úroveň  $L_1 = 0\text{dB}$  a impedance  $Z_1 = 100\Omega$ . Pro kontrolu bylo provedeno i měření s různou zátěží  $Z_2$  a pro všechny hodnoty zátěže byly naměřené hodnoty provozního útlumu po přepočtu dle vztahu <sup>27</sup>

$$A = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.1)$$

totožné, a proto se pro účely další práce ponechala zátěž pouze  $100\Omega$ . Zjištěné hodnoty jsou patrné z tabulek 3.1 - 3.3.

$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,64	1,9	600	0,18	12,4
100	0,51	3,6	700	0,14	13,9
200	0,41	5,5	800	0,11	15,5
300	0,34	7,4	900	0,09	17,0
400	0,27	9,4	1000	0,08	18,9

Tabulka 3.1: Provozní útlum vedení 250 m

<sup>27</sup>SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro OU a SŠ*, s. 70.

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

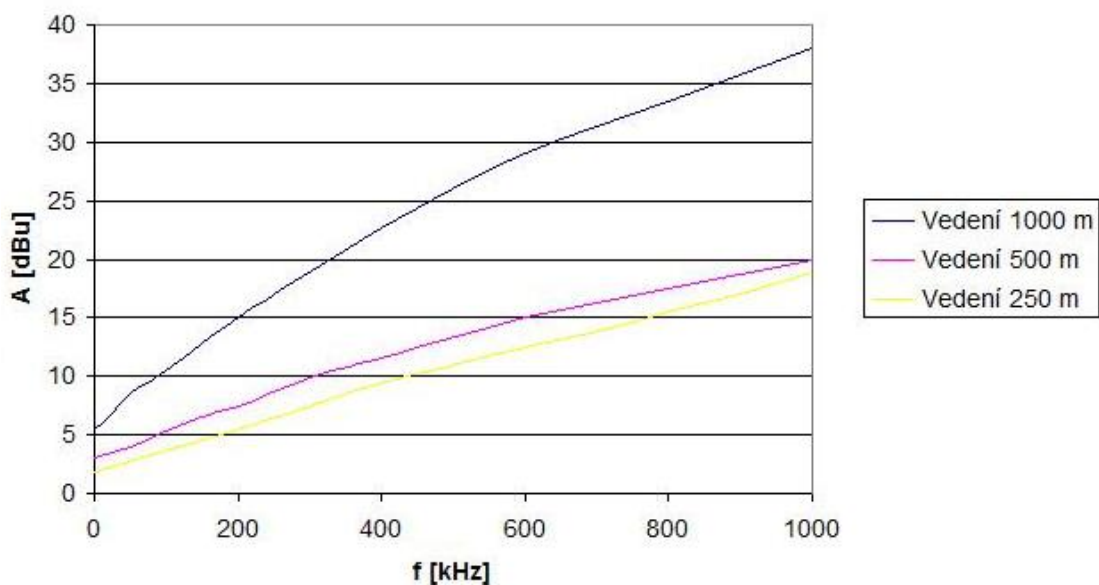
$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,52	3,1	300	0,26	9,9
50	0,49	4,0	400	0,20	11,5
100	0,41	5,3	600	0,13	15,5
150	0,39	6,5	800	0,09	17,5
200	0,31	7,5	1000	0,06	20,0

Tabulka 3.2: Provozní útlum vedení 500 m

$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,41	5,5	200	0,14	15,0
20	0,38	6,5	400	0,06	22,6
50	0,30	8,5	600	0,03	29,0
100	0,24	10,8	800	0,01	33,5
150	0,18	12,8	1000	0,008	38,0

Tabulka 3.3: Provozní útlum vedení 1000 m

Pro lepší přehlednost a porovnání hodnot jsou tyto naměřené hodnoty vyneseny do grafu. Charakteristiky provozního útlumu jsou od sebe barevně odlišeny. Největší provozní útlum má dle předpokladu vedení délky 1000 m. Následně pak vedení 500 m a 250 m. Poslední dvě zmíněné délky mají provozní útlumy velice podobné.



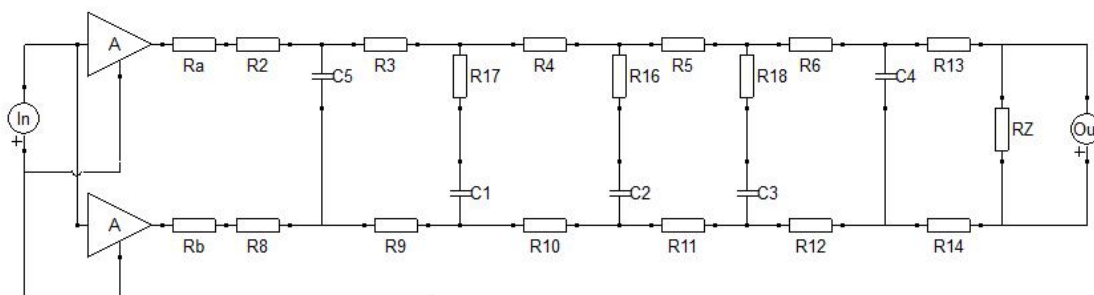
Obrázek 3.2: Charakteristiky reálných vedení



### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

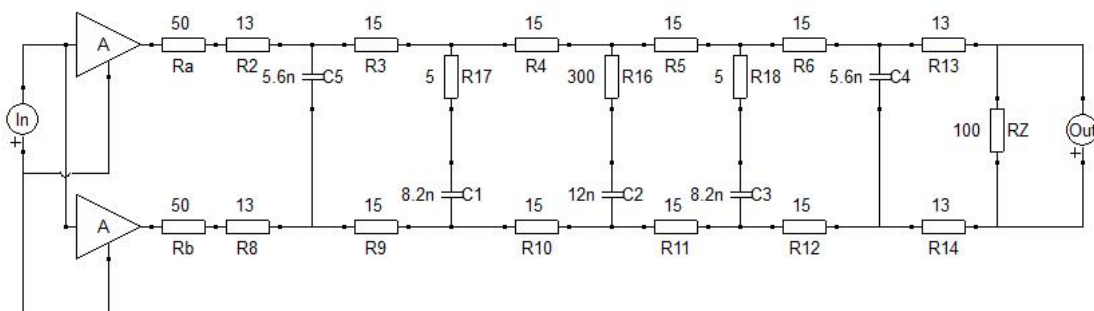
#### 3.2 Navržení maket v programu SNAP

Při sestavování maket metalického vedení bylo využito experimentální metody návrhu. Vycházelo se tedy z modelu umělého vedení, který obsahuje zapojení PI-regulátorů do kaskády a kde jsou indukčnosti nahrazeny RC členy jak je popsáno v bodě 2.2 této práce. Takto navržená schémata maket byla převedena do simulačního prostředí SNAP. Pro správnou funkčnost musel být do programu SNAP promítnut i symetrizační člen na straně generátoru signálu. Obrázek 3.3 představuje obecné zapojení maket symetrického metalického vedení.



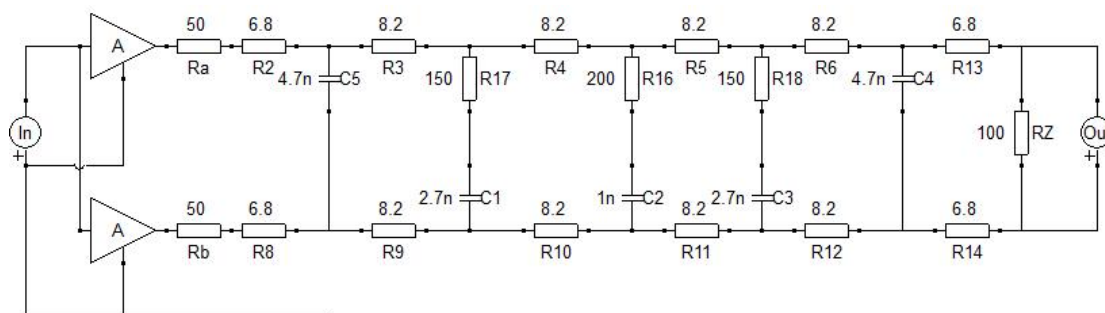
Obrázek 3.3: Obecné schéma makety symetrického vedení

Návrh maket vedení byl realizován metodou „postupného přibližování“. Hodnoty součástek se postupně upravují do podoby, kdy je výsledný provozní útlum makety co nejblíží provoznímu útlumu reálného vedení. Při volbě součástek je také zohledněna jejich dostupnost dle odporových a kapacitních řad. Výsledná schémata maket vedení jsou na obrázcích 3.4 - 3.6.

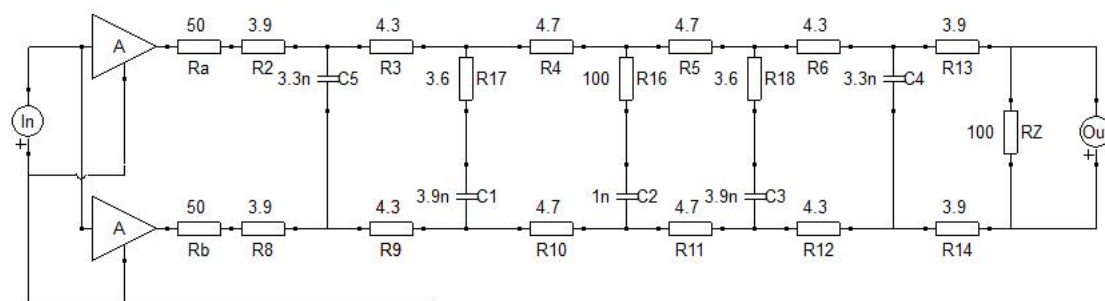


Obrázek 3.4: Návrh makety vedení délky 1000 m

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ



Obrázek 3.5: Návrh makety vedení délky 500 m



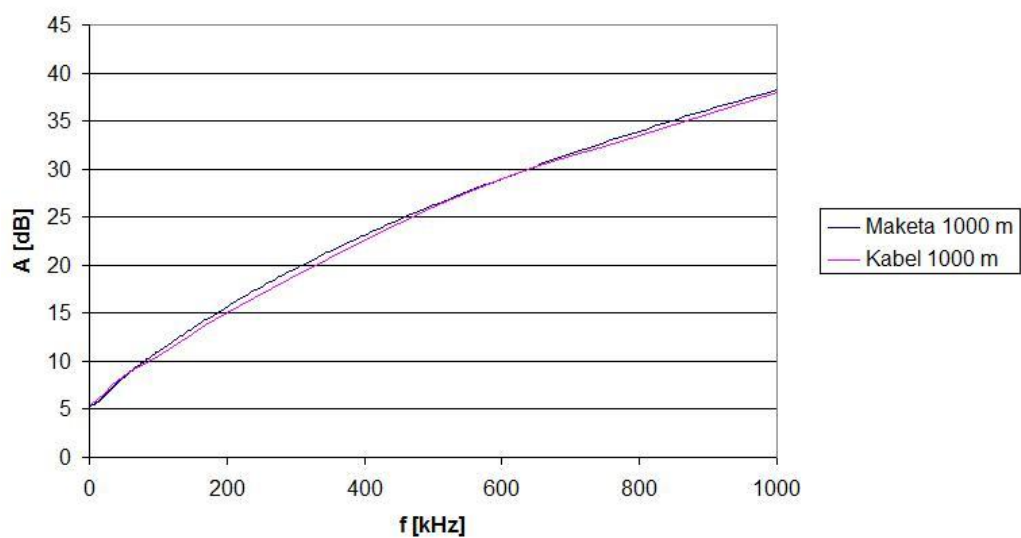
Obrázek 3.6: Návrh makety vedení délky 250 m

Hodnoty rezistorů v podélné větvi určují při simulaci makety výši počátečního provozního útlumu. Kondenzátory ve větvi příčné pak ovlivňují konečný útlum makety a lze jimi upravit průběh provozního útlumu. To platí i o rezistorech, které jsou s těmito kondenzátory v sériovém zapojení.

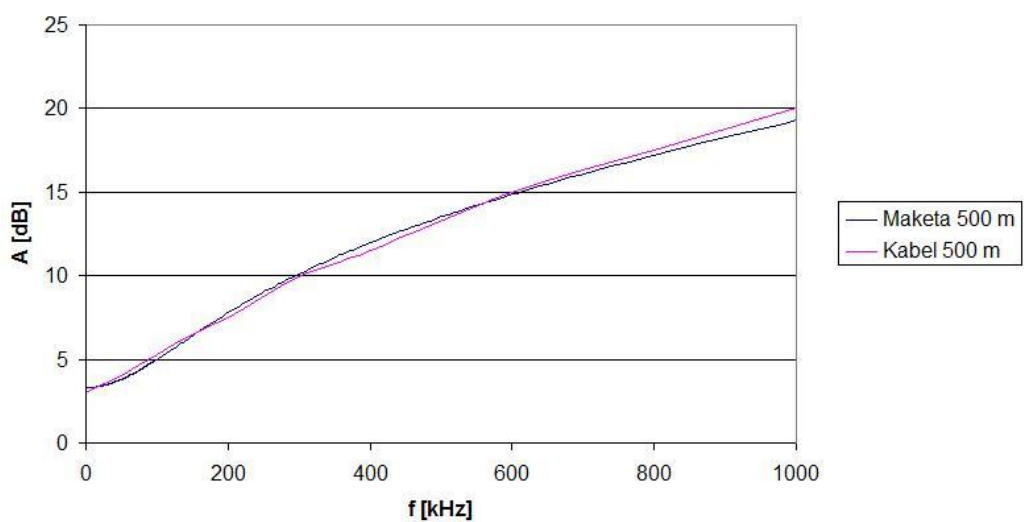
Frekvenční charakteristiky provozních útlumů jednotlivých maket jsou vyneseny do grafů. Pro srovnání jsou na obrázcích 3.7 - 3.9 i průběhy naměřené u reálného vedení. Křivky jsou od sebe barevně odděleny a lze detailně porovnat odchylky navržených maket od reálných kabelů. Hodnoty útlumů navržených maket a měřeného reálného vedení se od sebe liší jen minimálně.

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

---



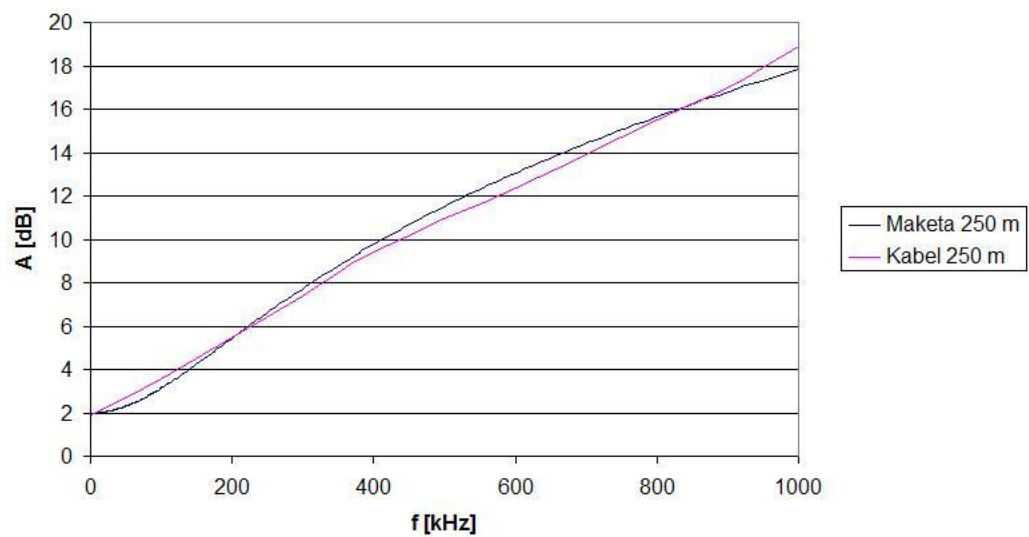
Obrázek 3.7: Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 1000 m vypočítaného ze SNAPu



Obrázek 3.8: Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 500 m vypočítaného ze SNAPu

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

---

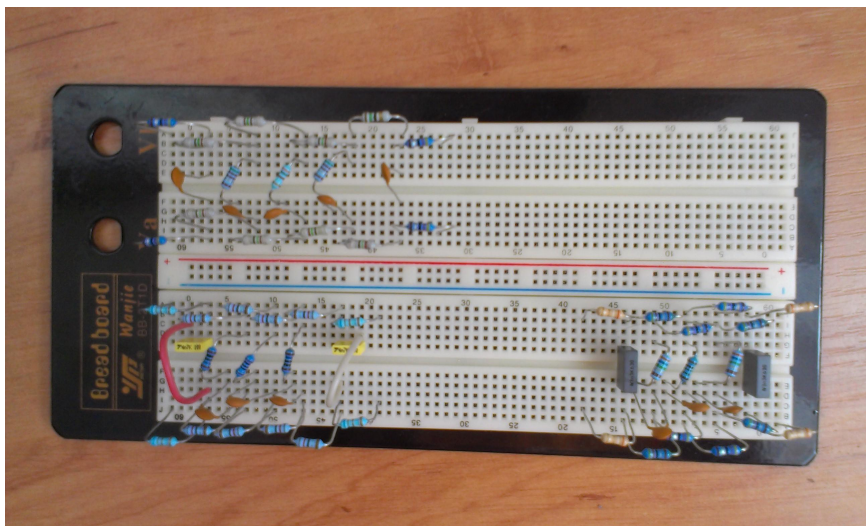


Obrázek 3.9: Porovnání změřeného útlumu reálného kabelu a útlumu makety délky 250 m vypočítaného ze SNAPu

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

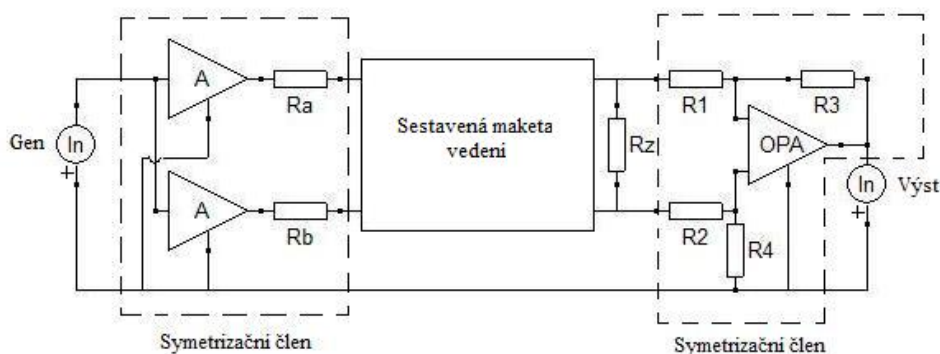
#### 3.3 Ověření parametrů navržených maket

Navržené makety byly sestaveny na nepájivém poli dle návrhu z programu SNAP. Jejich výsledná podoba je zaznamenána na obrázku 3.10. Simulované vedení délky 1000 m je v levé horní části. Vlevo dole je umístěna maketa délky 500 m a nakonec vpravo dole je vedení délky 250 m.



Obrázek 3.10: Sestavené makety na nepájivém poli

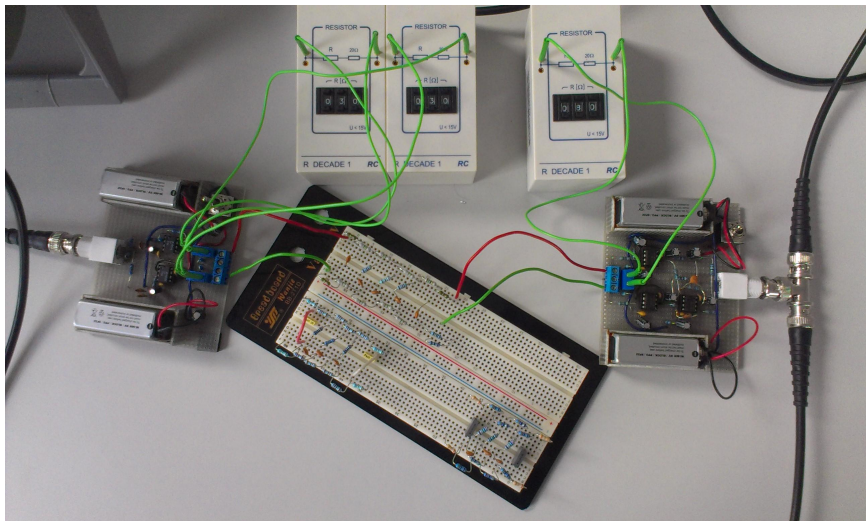
Na obrázku 3.11 je obecné schéma měření provozního útlumu maket. Zapojení se skládá z generátoru signálu, symetrizačních členů, makety vedení a měřiče výstupní úrovně.



Obrázek 3.11: Schéma zapojení měřených maket

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

Na obrázku 3.12 je vyobrazeno měřicí pracoviště se zapojenou maketou vedení délky 1000 m.



**Obrázek 3.12:** Měření simulovaného vedení délky 1000 m

Měření provozního útlumu maket bylo provedeno při vstupním signálu v rozsahu od  $1\text{ kHz}$  do  $1\text{ MHz}$ . Hodnota zátěže byla ponechána na  $100\Omega$  stejně jako při měření reálného vedení. Změřené hodnoty napětí a vypočtené hodnoty provozního útlumu jednotlivých maket jsou zaznamenány v tabulkách 3.4 - 3.6.

$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,61	2,0	600	0,16	13,1
100	0,52	3,4	700	0,13	14,5
200	0,40	5,6	800	0,11	15,9
300	0,31	7,9	900	0,10	17,0
400	0,24	10,0	1000	0,09	18,2

**Tabulka 3.4:** Provozní útlum makety vedení 250 m

$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,52	3,5	300	0,26	9,7
50	0,50	4,0	400	0,21	11,1
100	0,44	5,0	600	0,14	14,0
150	0,39	6,0	800	0,11	16,5
200	0,34	7,2	1000	0,09	19,0

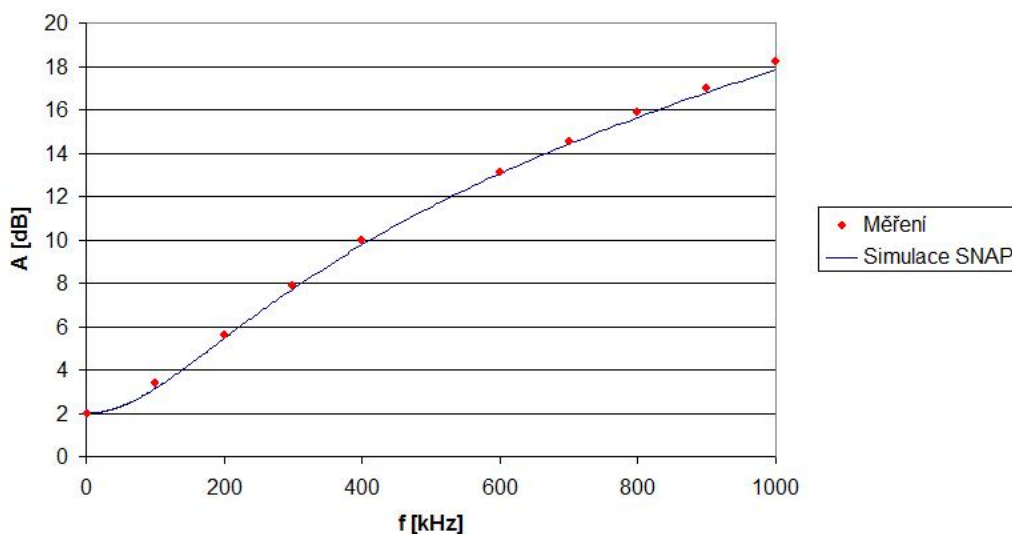
**Tabulka 3.5:** Provozní útlum makety vedení 500 m

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,42	5,5	200	0,12	16,0
20	0,38	6,5	400	0,050	23,6
50	0,30	8,5	600	0,024	30,0
100	0,22	11,0	800	0,012	34,5
150	0,16	13,5	1000	0,007	37,0

**Tabulka 3.6:** Provozní útlum makety vedení 1000 m

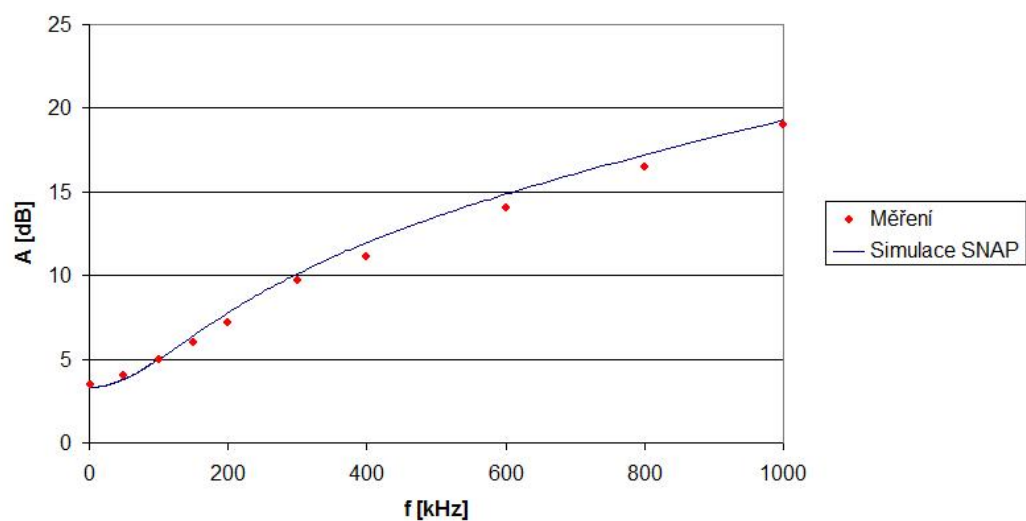
Porovnání průběhů útlumů navržených maket je na obrázcích 3.13 - 3.15. Modrá křivka značí simulovaný průběh útlumu makety z programu SNAP. Červené body pak zobrazují změřený průběh provozního útlumu na maketách. Z grafů je patrné, že průběhy změřených útlumů maket se od simulací z programu SNAP liší jen minimálně. Nejmenší odchylka výsledného útlumu je u makety délky 250 m, kde body leží na křivce nebo jsou mezi nimi a křivkou jen nepatrné rozdíly.



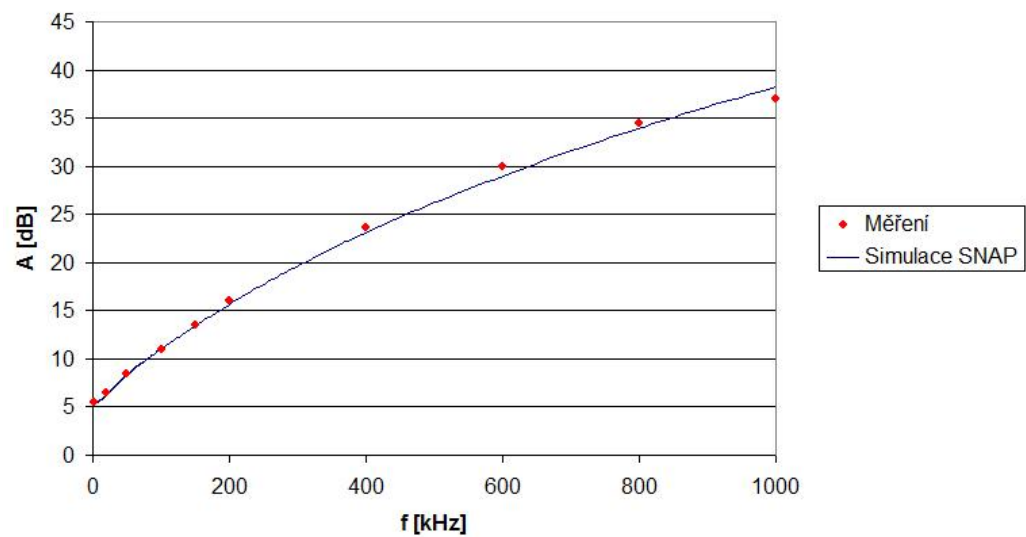
**Obrázek 3.13:** Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 250 m

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

---



Obrázek 3.14: Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 500 m



Obrázek 3.15: Frekvenční charakteristiky provozních útlumů makety vedení délky 1000 m



### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

#### 3.4 Porovnání parametrů reálného vedení a navržených maket

Pro lepší přehlednost jsou všechny naměřené hodnoty provozního útlumu maket i reálného vedení uvedeny v tabulkách 3.7 - 3.9. Z hodnot je patrné, že rozdíl provozních útlumů kabelů a maket je maximálně  $1\text{dBu}$ .

maketa 250 m			reálné vedení 250 m		
$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,61	2,0	1	0,64	1,9
100	0,52	3,4	100	0,51	3,6
200	0,40	5,6	200	0,41	5,5
300	0,31	7,9	300	0,34	7,4
400	0,24	10,0	400	0,27	9,4
600	0,16	13,1	600	0,18	12,4
700	0,13	14,5	700	0,14	13,9
800	0,11	15,9	800	0,11	15,5
900	0,10	17,0	900	0,09	17,0
1000	0,09	18,2	1000	0,08	18,9

Tabulka 3.7: Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 250 m

maketa 500 m			reálné vedení 500 m		
$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,52	3,5	1	0,52	3,1
50	0,50	4,0	50	0,49	4,0
100	0,44	5,0	100	0,41	5,3
150	0,39	6,0	150	0,39	6,5
200	0,34	7,2	200	0,31	7,5
300	0,26	9,7	300	0,26	9,9
400	0,21	11,1	400	0,20	11,5
600	0,14	14,0	600	0,13	15,0
800	0,11	16,5	800	0,09	17,5
1000	0,09	19,0	1000	0,06	20,0

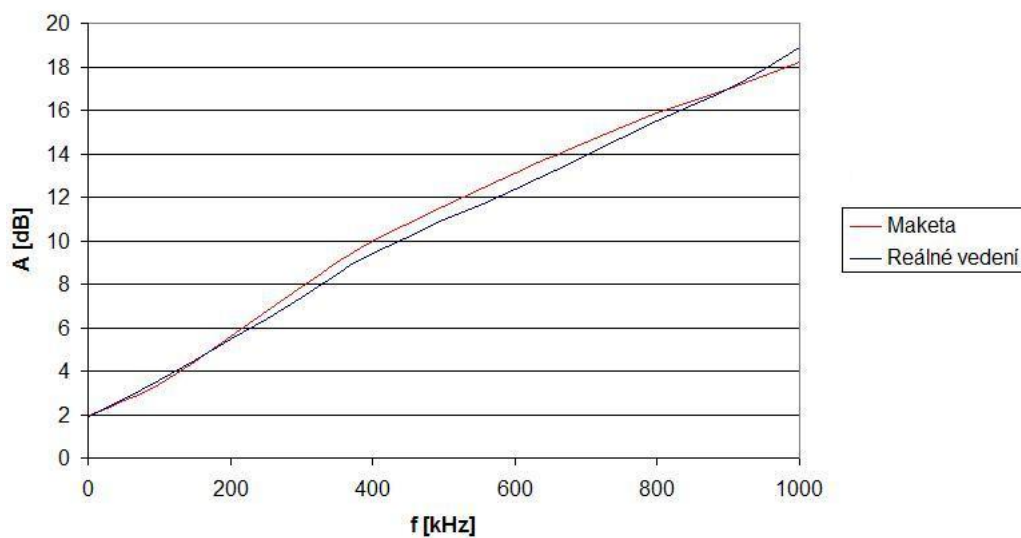
Tabulka 3.8: Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 500 m

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

maketa 1000 m			reálné vedení 1000 m		
$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$	$f[\text{kHz}]$	$U_2[\text{V}]$	$A[\text{dBu}]$
1	0,42	5,5	1	0,41	5,5
20	0,38	6,5	20	0,38	6,5
50	0,30	8,5	50	0,30	8,5
100	0,22	11,0	100	0,24	10,8
150	0,16	13,5	150	0,18	12,8
200	0,12	16,0	200	0,14	15,0
400	0,050	23,6	400	0,06	22,6
600	0,024	30,0	600	0,03	29,0
800	0,012	34,5	800	0,01	33,5
1000	0,007	37,0	1000	0,007	38,0

**Tabulka 3.9:** Porovnání provozních útlumů makety a reálného vedení 1000 m

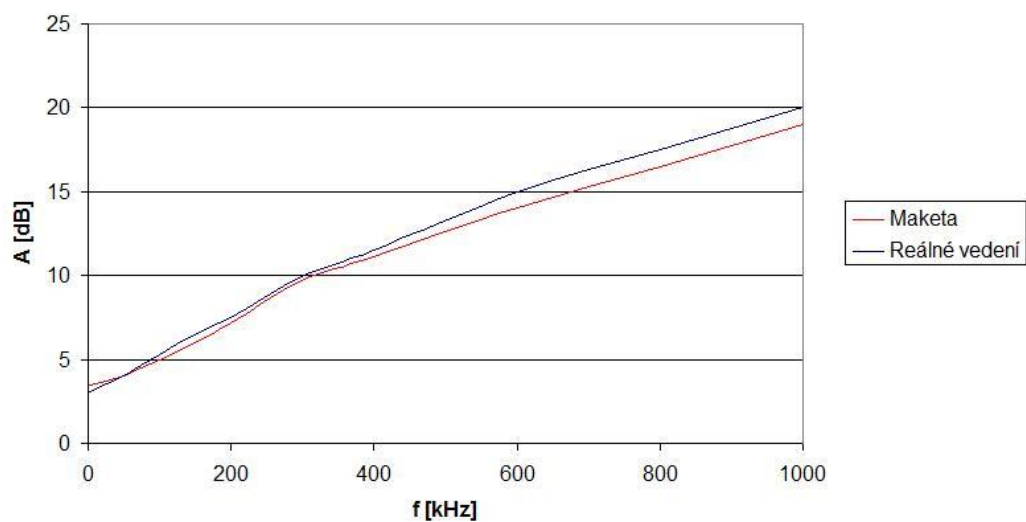
Obrázky 3.16 - 3.18 vykreslují grafické porovnání hodnot z tabulek 3.7 - 3.9. Křivky značené červeně zobrazují provozní útlum při měření s maketou. Provozní útlum reálného vedení je pak zobrazen barvou modrou. Průběhy útlumů maket poměrně přesně kopírují útlumy reálných vedení.



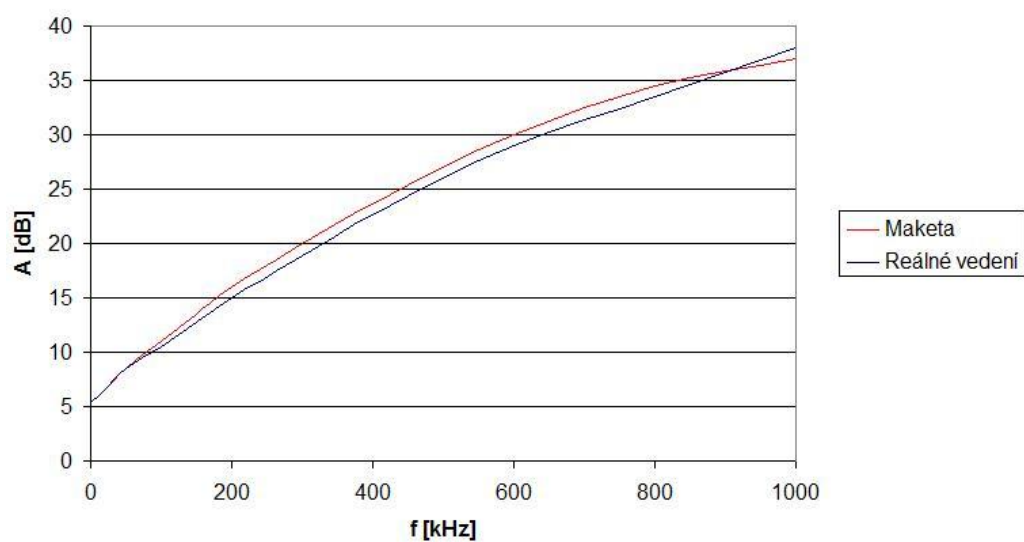
**Obrázek 3.16:** Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 250 m

### 3 NÁVRH MAKET METALICKÉHO VEDENÍ

---



Obrázek 3.17: Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 500 m



Obrázek 3.18: Porovnání měřených provozních útlumů makety a reálného vedení délky 1000 m

### 4 Závěr

Cílem této práce bylo navržení obvodového řešení maket symetrického vedení, které simulují chování reálných kabelů. První fáze se zabývá teoretickým úvodem do problematiky přenosových cest. Konkrétně pak popisem metalického vedení. Fáze druhá popisuje simulace umělých vedení a je stěžejní částí pro fázi třetí. Tato část řeší návrh maket metalického vedení. Zabývá se měřením parametrů reálných vedení, návrhem maket pomocí programu SNAP a ověřením výsledných hodnot.

Makety vedení byly navrženy dle vlastností kabelu SYKFY 2x2x0,5 o délkách 1000, 500 a 250 m. Po změření provozních útlumů kabelů se podařilo v programu SNAP navrhnout jejich makety. Při realizaci se vycházelo z „experimentální metody“ návrhu, která je popsána v druhé části této práce. Jednotlivé součástky byly postupně voleny metodou „postupného přibližování“, kdy se jejich hodnota upravuje tak, abychom se co nejvíce přiblížili požadovaným provozním útlumům.

Vlastnosti maket vedení byly ověřeny měřením provozního útlumu. Měření se uskutečnilo dle stejného schématu zapojení, na stejném pracovišti a se stejnými přístroji jako při měření provozního útlumu reálného kabelu. Maketa vedení 250 m vykazuje na celém frekvenčním spektru maximální odchylku  $\pm 0,6 \text{ dBu}$ . Simulované vedení 500 m má na rozsahu frekvencí  $1 \text{ kHz} - 400 \text{ kHz}$  maximální naměřenou odchylku  $\pm 0,5 \text{ dBu}$  a od frekvence  $400 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz}$  pak odchylku  $-1 \text{ dBu}$ . Maketa vedení 1000 m vykazuje na frekvencích  $1 \text{ kHz} - 100 \text{ kHz}$  prakticky totožné hodnoty útlumu jako reálné vedení a od frekvence  $150 \text{ kHz}$  se pak hodnota útlumu mění v rozmezí  $\pm 1 \text{ dBu}$ .

Jako nejpřesnější se tedy jeví maketa vedení 250 m, u které se provozní útlum liší od reálného vedení nejméně. Všechny makety jsou použitelné v celém měřeném frekvenčním rozsahu  $1 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz}$ .

Navržené makety by se daly ještě zdokonalit, pokud by se pro jejich realizaci použilo více RC článků. Navýšením jejich počtu lze lépe upravovat průběh útlumů maket, což se prokázalo při jejich realizaci.

### Literatura

SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro odborná učiliště a střední školy*. 1. vyd. Praha: Hüthig, 1998, 136 s. ISBN 80-901-9363-3.

SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. *Základy teleinformatiky: průřezová učebnice pro odborná učiliště a střední školy*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1998, 190 s. ISBN 80-010-1767-2.

*Přenosová média: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=5491>

HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty: metalická vedení a vlastnosti* [online]. [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4302>

*Rádiové přenosové cesty* [online]. [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.bakal06.chytrak.cz/46—P%F8enosov%E9-cesty.pdf>

*Umělá vedení v telekomunikační technice* [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008120006>

*Modul umělého vedení pro digitální účastnické přípojky* [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=modul-umeleho-vedeni-pro-digitalni-ucastnicke-pripojky&cisloclanku=2008120005>

### A Příloha na CD

Na přiloženém CD se nachází:

- elektronická verze bakalářské práce (BP.pdf)
- zdrojové soubory potřebné pro vytvoření textu (složka BP)
- makety symetrického vedení navržené v programu SNAP (složka Makety)
- exportované tabulky útlumů maket z programu SNAP (složka Tabulky)